NORME INTERNATIONALE

ISO 16084

Première édition
2017-10

Équillibrage pour outils rotatifs et systèmes d'outillage

Balancing of rotating tools and tool systems

Numéro de référence
ISO 16084:2017(F)

© ISO 2017



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2017, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
copyright@iso.org
www.iso.org

Sommaire

Page

Avant-propos ..... **iv**

Introduction ..... **v**

1 Domaine d'application **1**

2 Références normatives **1**

3 Termes, définitions, symboles et termes abrégés **1**
3.1 Termes et définitions 1
3.2 Symboles et termes abrégés 3

4 Exigences **7**
4.1 Généralités 7
4.1.1 Erreurs de serrage 7
4.1.2 Influence des machines à équilibrer 7
4.1.3 Effets et conséquences fréquentes des balourds résiduels admissibles conformément à l'ISO 1940-1 7
4.1.4 Propriétés inhérentes aux machines-outils et aux composants 8
4.2 Exigences d'équilibrage en fonction de la charge de broche 8
4.2.1 Généralités 8
4.2.2 Détermination des exigences d'équilibrage 11
4.2.3 Précision de mesure des machines à équilibrer, influence du battement et répétabilité des résultats de mesure 14
4.2.4 Critères d'application de l'équilibrage statique et dynamique 16
4.2.5 Balourds dynamiques résiduels admissibles 16
4.2.6 Exigences d'équilibrage pour les systèmes d'outillage avec guidage 21
4.2.7 Influence du HSK (queue de cône creux) sur le déséquilibre dynamique 23
4.3 Balourds limites liés à la sécurité (G40) selon l'ISO 15641 24
4.4 Visualisation graphique des exigences d'équilibrage 24
4.5 Outils spéciaux avec formes de corps asymétriques 26

5 Équilibrage des systèmes d'outillage **26**
5.1 Généralités 26
5.2 Équilibrage des composants du système d'outillage 28
5.3 Influence de l'angle d'inclinaison des balourds des composants 30
5.4 Influence des dislocations de serrage 30
5.5 Intégration des composants équilibrés d'un système d'outillage selon l'ISO 1940-1 32
5.6 Calcul de la vitesse de rotation admissible en fonction du balourd réel 32
5.7 Détermination et calcul de la position du centre de gravité 32
5.7.1 Détermination expérimentale du centre de gravité 32
5.7.2 Calcul du centre de gravité d'un système d'outillage modulaire 33
5.8 Équilibrage des outils et des composants avec des interfaces alternatives 33
5.9 Adaptateurs HSK avec outils à symétrie rotationnelle 33
5.10 Remarques concernant le montage et l'équilibrage des systèmes d'outillage 34

6 Représentation et échange de données **35**

Annexe A (informative) **Déséquilibres résiduels admissibles — Approche théorique et exemples de calcul** **37**

Annexe B (informative) **Exemples de calculs pour des systèmes d'outillage** **62**

Annexe C (normative) **Structure d'un fichier XML pour la documentation des informations d'équilibrage** **67**

Annexe D (informative) **Formule fondamentale du balourd, corrélations et conseils pratiques** **69**

Bibliographie **72**

© ISO 2017 – Tous droits réservés

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 29, *Petit outillage*.

© ISO 2017 – Tous droits réservés

Introduction

L'augmentation des vitesses de coupe combinée à l'exigence d'un meilleur équilibrage contribue à renforcer les conditions d'équilibrage pour le système d'outillage à broche (broche de machine-outil, dispositif de serrage et système d'outillage). Les outils d'équilibrage et systèmes d'outillage décrits dans l'ISO 1940-1 sont souvent amplifiés par le choix additionnel de la meilleure qualité d'équilibrage de niveau supérieur (par exemple, G 2,5 eu lieu de G 6,3). Ce choix s'avère souvent injustifié sur le plan technique et assez coûteux, sans compter que le niveau de qualité ne peut être atteint dans bien des cas.

Le balourd agit comme une excitation harmonique de la structure de la machine, et l'intensité de la force centrifuge excitée résulte du balourd et de la vitesse de rotation. Un autre point à prendre en considération, la charge de la broche due au balourd, concerne le fait que les forces de coupe dynamiques (par exemple, provoquées par la coupe interrompue d'une fraiseuse) sont souvent considérablement plus puissantes que les forces centrifuges provoquées par les déséquilibres résiduels admissibles demandés.

Les exigences de qualité en matière d'équilibrage des rotors statiques mentionnés dans l'ISO 1940-1 (par exemple, rotors à moteur électrique, etc.) ne peuvent correctement s'appliquer aux systèmes d'outillage à broche dans la mesure où les broches de machine-outil, les dispositifs de serrage et les outils présentent des propriétés fondamentalement différentes:

— les broches des machines-outils, les dispositifs de serrage et les outils sont des systèmes variables (en raison, par exemple, des changements d'outil dans les centres d'usinage);

— compte tenu des erreurs de serrage radial et angulaire, un changement répété d'outils dans la broche contribue à faire fluctuer conditions d'équilibrage dans les systèmes d'outillage à broche;

— les tolérances d'assemblage de chaque composant (broche, dispositif de serrage et outil) soumettent le procédé d'équilibrage à des limites.

En particulier, les erreurs de serrage entre le système d'outillage et la broche de la machine-outil limitent la répétabilité des conditions d'équilibrage. Pour autant, le présent document ne précise pas dans le détail l'équilibrage des systèmes d'outillage à broche comportant des broches de machine-outil.

Dans ces conditions, des procédures ont été élaborées pour établir des exigences d'équilibrage pour les systèmes d'outillage rotatifs en tenant compte de tous les paramètres essentiels. La présente norme a pour objectif principal de limiter les vibrations de la machine liées au balourd, les charges du système, ainsi que les interférences de processus.

Les situations susmentionnées ont motivé l'élaboration d'une nouvelle approche pour spécifier les exigences d'équilibrage des systèmes d'outillage rotatifs. Le présent document s'appuie sur les résultats de recherche compilés à l'«Institute of Production Management, Technology and Machine Tools of the Technical University Darmstadt», du PTW, à l'«Association pour la Technologie et le Développement (Gesellschaft für Fertigungstechnologie und Entwicklung e. V.)» du GFE à Schmalkalden (Allemagne), et sur les discussions avec le groupe de travail pour la normalisation allemande «Exigences d'équilibrage des systèmes d'outillage rotatifs».

Les résultats de recherche et les expériences sur le terrain ont montré que le présent document est adapté à la fois du point de vue technique et économique.

L'Annexe A expose plusieurs exemples d'équilibrages statiques et dynamiques pour des outils de formes différentes, alors que les systèmes d'outillage modulaires sont couverts par les exemples donnés en Annexe B. L'Annexe A comprend également les écarts de calculs des déséquilibres résiduels admissibles dynamiques pour les trois configurations géométriques différentes couvertes dans le présent document.

Une introduction à la notion d'«équilibrage» est également présente dans l'ISO 19499. Ce document comporte des informations utiles eu égard aux autres normes traitant de l'équilibrage des rotors.

L'EN 847 (toutes les parties) contient des spécifications additionnelles pour les outils d'équilibrage dans le domaine du travail du bois.

© ISO 2017 – Tous droits réservés

Équillibrage pour outils rotatifs et systèmes d'outillage

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie des exigences et fournit des modes de calcul pour les déséquilibres résiduels statiques et dynamiques admissibles d'outils simples rotatifs et de systèmes d'outillage. Elle se fonde sur le principe directeur selon lequel les forces centrifuges liées au balourd et induites par la vitesse de rotation n'endommagent pas les paliers de broche et préviennent les détériorations liées au balourd des procédés d'usinage, de la durée de vie de l'outil et de la qualité des pièces à usiner.

NOTE 1 Les outils et les systèmes d'outillage couverts par le présent document englobent par exemple ceux dotés d'interfaces à cône creux (HSK) conformément à l'ISO 12164-1 et l'ISO 12164-2, ceux équipés d'interfaces à cône modulaire avec système de serrage à billes conformément à la série ISO 26622, ceux avec des interfaces à cône polygonal conformément à la série ISO 26623, les outils à conicité 7/24 conformément à l'ISO 7388-1, l'ISO 7388-2 et à l'ISO 9270-1 et l'ISO 9270-2 pour ce qui est de leur vitesse d'exploitation individuelle.

Les systèmes d'outillage modulaires constituent un autre aspect important et complexe du présent document. Il englobe des calculs et des descriptions de procédés d'équilibrage pour ces composants et les systèmes d'outillage assemblés.

Le présent document consacre une importante partie sur la dislocation possible entre un outil ou un système d'outillage et la broche de la machine-outil (par exemple, à chaque changement d'outil), ainsi qu'à l'intérieur d'un système d'outillage modulaire lors de son montage.

NOTE 2 Un procédé mal adapté ou un système en mauvais état (par exemple, résonance partielle de la structure de la machine produite par des vitesses de rotations particulières) ou une mauvaise conception et l'état technique de la machine qui en résulte (par exemple, longueur de saillie des essieux, fonctionnement en milieu étroit, dispositifs sensibles aux vibrations, dispositifs de serrage et conception d'outillage) peuvent accroître les charges de vibration et peser davantage sur les exigences d'équilibrage. Tout ceci dépend de l'interaction individuelle de la machine et du système d'outillage à broche, et ne peut être couvert dans une norme. Il peut être nécessaire de s'écarter des valeurs limites recommandées dans le présent document selon le cas de figure spécifique qui se présente.

NOTE 3 L'abrasion des surfaces au niveau des queues d'outils peut engendrer de possibles variations dans le serrage et, partant, aggraver le battement et dégrader les conditions d'équilibrage. Ces erreurs ne peuvent faire l'objet d'une norme spécifique.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 1925, *Vibrations mécaniques — Équilibrage — Vocabulaire*

3 Termes, définitions, symboles et termes abrégés

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 1925 ainsi que les suivants s'appliquent.

© ISO 2017 – Tous droits réservés

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

— IEC Electropedia: disponible à l'adresse http://www.electropedia.org/

— ISO Plateforme de consultation en ligne: disponible à l'adresse http://www.iso.org/obp

NOTE Le domaine spécifique de l'équilibrage exige l'introduction de termes et de définitions qui ne suivent pas la série des normes ISO 13399.

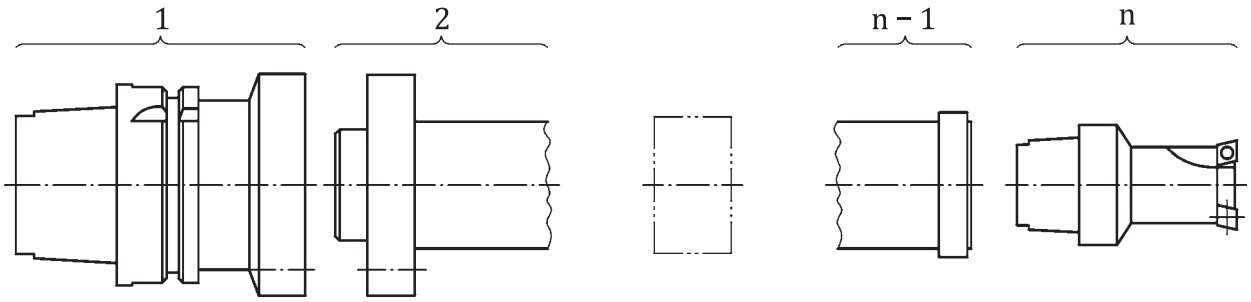
3.1.1
système d'outillage à broche
assemblage de tous les composants, par exemple, broche de machine-outil et *système d'outillage* (3.1.2), qui peut engendrer un déséquilibre en raison de la conception, de la forme, du battement, etc

3.1.2
système d'outillage
assemblage d'au moins deux composants

EXEMPLE Un adaptateur de queue et un *outil simple* (3.1.3).

Note 1 à l'article: Le terme «système d'outillage modulaire» est utilisé comme synonyme de «système d'outillage» dans le présent document.

Note 2 à l'article: Le composant n°1 (adaptateur de queue) de la Figure 1 pourrait également être un outil simple muni d'une interface destinée à supporter le composant n°2



Légende

1 Composant n°1: Adaptateur de queue
2 Composant 2: Adaptateur intermédiaire
n – 1 Composant n-1: Adaptateur intermédiaire
n Composant n: Outil de coupe (simple)

Figure 1 — Exemple de composants possibles dans un système d'outillage modulaire

3.1.3
outil simple
composition du corps de l'outil, des éléments intermédiaires (par exemple, cassettes, composants modulaires) et de la ou des arrêtes de coupe (par exemple, tête de coupe, ciseau) destinée à retirer de la matière d'une pièce à usiner par une action de cisaillement au niveau de la ou des arrêtes de coupe définies.

Note 1 à l'article: Le terme «outil simple» a le sens ici d'«outil de coupe simple».

3.1.4
adaptateur de base
élément modulaire équipé de différents types et tailles d'*interfaces* (3.1.7) de raccordement mâles ou femelles à la fois côté machine et pièce à usiner

 © ISO 2017 – Tous droits réservés

3.1.5
adaptateur intermédiaire
élément modulaire entre l'*adaptateur de base* (3.1.4) et l'*outil simple* (3.1.3) ou un autre adaptateur intermédiaire

3.1.6
dispositif de serrage
dispositif de serrage qui forme le raccordement entre la broche et le *système d'outillage* (3.1.2)

3.1.7
interface
point de contact dans un *système d'outillage* (3.1.2) entre un outil ou un système d'outillage et la broche de machine-outil

3.1.8
moment de déséquilibre
moment provoqué par un balourd présentant une distance axiale (c'est-à-dire un levier) avec le palier avant de la broche

3.1.9
couple de balourds
moment de déséquilibre (3.1.8) de nature particulière provoqué par deux balourds de même taille, de sens opposé et à distance axiale

Note 1 à l'article: Il se produit principalement en situation d'équilibrage quasi-statique (voir Figure 5, et A.5.2)

3.2 Symboles et termes abrégés

Symboles et termes abrégés	Unité	Description
a	mm	Bras de levier total — Distance entre le palier avant B1 et le centre de gravité CG de l'outil
a_M	mm	Bras de levier de machine d'un modèle de broche générique (c'est-à-dire distance entre le palier avant et le nez de broche, par exemple face frontale HSK)
B1	—	Palier de broche 1
B2	—	Palier de broche 2
b	mm	Distance entre les plans d'équilibrage P1 et P2
b_{MIN}	mm	Distance minimale entre les plans d'équilibrage P1 et P2
CG	—	Centre de gravité
CS	—	Utilisateur (également utilisateur)
C_{DYN}	N	Capacité(s) de charge dynamique du ou des paliers de broche
D	mm	Diamètre
D_{REF}	mm	Diamètre de référence d'un outil ou d'un composant pour les besoins de la vérification G 40
D_S	mm	Diamètre de référence de la bride de queue (par exemple, HSK 63 → D_S = 63 mm)
$e_{k,SYS,MAX}$	mm	Dislocation maximale d'assemblage du composant k dans un système d'outillage
e_S	mm	Dislocation radiale pure d'assemblage d'une queue d'outil ou d'un composant d'outil
$e_{S,i}$	mm	Dislocation radiale du composant i du système d'outillage
f_{BAL}	—	Facteur de pondération pour la qualité d'équilibrage
$f_{BAL,FINE}$	—	Facteur de pondération pour l'équilibrage fin
$f_{BAL,STND}$	—	Facteur de pondération pour l'équilibrage standard
$f_{P,MIN}$	—	Facteur pour garantir un balourd admissible minimal par plan

© ISO 2017 – Tous droits réservés

Symboles et termes abrégés	Unité	Description
$f_{SYS,k}$	—	Facteur pour calculer les balourds admissibles de composant des systèmes d'outillages spéciaux
$\vec{F}$	N	Vecteur de force
F_B	N	Force totale sur un palier de broche
F_{B1}	N	Force (dynamique) qui s'exerce sur le palier de broche B1 en raison d'un balourd
F_{B2}	N	Force (dynamique) qui s'exerce sur le palier de broche B2 en raison d'un balourd
$F_{B1,CPL}$	N	Force au niveau du palier B1 en raison d'un couple de balourds
$F_{B1,RES}$	N	Force résultante au niveau du palier B1
$F_{B1,STAT}$	N	Force au niveau du palier B1 en raison d'un déséquilibre statique
G (x)	mm/s	Qualité d'équilibrage (x) conforme à l'ISO 1940-1, par exemple, G 6,3
G 40	mm/s	Limite de sécurité du déséquilibre admissible conforme à l'ISO 15641
h_{P1}	mm	Distance entre le RP et le plan P1
h_{P2}	mm	Distance entre le RP et le plan P2
HSK-(x)	—	HSK de la dimension (x) représentant tous les différents types (A, C, E, T, etc.), par exemple, HSK-63
i	—	Indexage pour des paramètres ou des composants numérotés (plans d'équilibrage, composants d'outil, etc.)
k	—	Nombre de composants du système d'outillage
k_{SYS}	—	Nombre total de composants du système d'outillage
$k_{SYS,STND}$	—	Nombre total de composants d'un système d'outillage standard $k_{SYS,STND} = 3$
L	mm	Longueur d'un outil simple ou d'un composant de système d'outillage
L_B	mm	Distance entre les paliers de broche B1 et B2
L_{BL}	mm	Longueur maximale entre le RP et le plan P2 qui permet encore la compensation de masse; Autrement dit, $L_{BL} < L$
L_{CG}	mm	Bras de levier entre RP et le centre de gravité de l'outil CG
$L_{CG,i}$	mm	Bras de levier au centre de gravité du composant *i*
$L_{CG,i,SYS}$	mm	Bras de levier entre le centre de gravité du composant *i* dans un système d'outillage
$L_{CG,SYS}$	mm	Bras de levier jusqu'au centre de gravité d'un système d'outillage (distance entre le RP et le CG)
$L_{CG,SYS,i}$	mm	Bras de levier jusqu'au centre de gravité d'un système d'outillage à (*i*) composants
$L_{CG,SYS,k}$	mm	Bras de levier jusqu'au centre de gravité d'un système d'outillage à (*k*) composants
$L_{CG,SYS,3}$	mm	Bras de levier jusqu'au centre de gravité d'un système d'outillage standard à (3) composants
L_{CPL}	mm	Distance entre les plans du balourd initial et le balourd de compensation (dans le cas d'un couple de balourds dû à un équilibrage quasi statique)
L_{P1}	mm	Distance entre le point de référence de la broche RP et le plan P1
L_{P2}	mm	Distance entre le point de référence de la broche RP et le plan P2
L_{SYS}	mm	Longueur d'un système d'outillage
$L_{STAT,MAX}$	mm	Longueur maximale d'un outil ou d'un système d'outillage pour l'équilibrage statique
m	g (kg)	Masse d'un outil NOTE Les masses sont exprimées dans toutes les formules en grammes [g]
m_{AVG}	g (kg)	Masse de référence moyenne applicable à l'interface d'un outil ou d'un système d'outillage
m_i	g (kg)	Masse du composant i du système d'outillage

© ISO 2017 – Tous droits réservés

Symboles et termes abrégés	Unité	Description
m_k	g (kg)	Masse du composant k du système d'outillage
m_{MAX}	g (kg)	Masse de référence maximale applicable à l'interface d'un outil ou d'un système d'outillage
m_{MIN}	g (kg)	Masse de référence minimale applicable à l'interface d'un outil ou d'un système d'outillage
m_{SYS}	g (kg)	Masse d'un système d'outillage
m_U	g	Masse du balourd
$m_{U,P1}$	g	Masse du balourd au plan P1
$m_{U,P2}$	g	Masse du balourd au plan P2
n	min^{-1}	Vitesse de rotation
$n_{MAX,PER}$	min^{-1}	Vitesse de rotation maximale admissible
n_{SYS}	min^{-1}	Vitesse de rotation d'un système d'outillage
P1	—	Plan d'équilibrage 1
P2	—	Plan d'équilibrage 2
RP	—	Position de référence au nez de broche (par exemple, face frontale HSK)
r	mm	Rayon
R_{DYN}	—	Taux d'utilisation de la capacité de charge dynamique du palier C_{DYN}
$R_{L/D}$	—	Longueur de l'outil ramené à son diamètre (pour déterminer si un équilibrage statique ou dynamique est requis)
$R_{STAT,MAX}$	—	Taux limite pour l'équilibrage statique ($R_{STAT,MAX}$ = 2,2)
$R^*_{STAT,MAX}$	—	Taux limite pour l'équilibrage statique des outils avec guidage
TM	—	Fabricant de l'outil ou du composant
U	gmm	Balourd (NOTE L'unité «gmm» est égale à «g·mm».)
$\vec{U}$	gmm	Vecteur balourd
$U_{BM,MIN}$	gmm	Plus petit déséquilibre mesurable d'une machine à équilibrer
$U_{BM,ACC}$	gmm	Précision de mesure d'une machine à équilibrer
U_{CPL}	gmm^2	Couple de balourds
U_{ECC}	gmm	Déséquilibre dû au battement selon une déviation d'assemblage radiale (excentrique) par rapport à l'axe de rotation de la broche
$U_{ECC,i}$	gmm	Déséquilibre du composant *i* dû à la dislocation radiale relative de l'axe de rotation de la broche
$U_{ECC,MAX}$	gmm	Déséquilibre dû à la dislocation radiale maximale (excentricité)
$U_{ECC,i,SYS}$	gmm	Déséquilibre dû à la dislocation radiale du composant i par rapport au composant i – 1 dans un système d'outillage
$U_{ECC,k,MAX}$	gmm	Déséquilibre maximum du composant k dû à la dislocation radiale dans un système d'outillage
$U_{G(x),PER}$	gmm	Balourd statique résiduel selon l'ISO 1940-1
$U_{G\,40}$	gmm	Sécurité G40 anti-balourd selon l'ISO 15641
U_{MIN}	gmm	Balourd résiduel minimal réalisable
$U_{MIN,SYS,k}$	gmm	Balourd résiduel minimal réalisable d'un système d'outillage des composants k
$U_{MOM,STAT}$	gmm	Moment de déséquilibre statique U_{STAT} (localisé dans le CG)
U_P	gmm	Balourd par plan
$U_{P,MIN}$	gmm	Balourd minimal par plan
$U_{P,PER}$	gmm	Balourd résiduel admissible par plan

© ISO 2017 – Tous droits réservés

Symboles et termes abrégés	Unité	Description
U_{P1}	gmm	Déséquilibre au plan d'équilibrage P1
U_{P2}	gmm	Déséquilibre au plan d'équilibrage P2
$U_{P1,PER}$	gmm	Balourd résiduel admissible au plan d'équilibrage P1
$U^{*}_{P1,PER}$	gmm	$U_{P1,PER}$ mais avec le même angle d'inclinaison que $U_{P2,PER}$
$U_{P1,PER,LIM}$	gmm	Balourd résiduel admissible limité au plan d'équilibrage P1 (cas F)
$U_{P2,PER}$	gmm	Balourd résiduel admissible au plan d'équilibrage P2
$U_{P2,PER,LIM}$	gmm	Balourd résiduel admissible limité au plan d'équilibrage P2 (cas F)
U_{QS}	gmm	Balourd quasi statique (voir la Figure 5)
U_{STAT}	gmm	Déséquilibre statique
$U_{STAT,ACT}$	gmm	Balourd statique réel (par exemple, mesuré)
$U_{STAT,BAL}$	gmm	Balourd statique mesuré par f_{BAL}
$U_{STAT,MAX}$	gmm	Déséquilibre statique maximum
$U_{STAT,i,MAX}$	gmm	Déséquilibre statique maximum du composant i dans un système d'outillage de composants k_{SYS}
$U_{STAT,i,SYS,PER}$	gmm	Balourd statique résiduel admissible du composant *i* universel qui peut être placé dans n'importe quelle position axiale dans un système d'outillage de composants k_{SYS}
$U_{STAT,1\ \%}$	gmm	Balourd statique pour garantir que $F_{B1}/C_{DYN} \leq 1\ \%$ au niveau du palier de broche B1
$U_{STAT,MAX,A}$	gmm	Balourd statique maximal possible du cas A de la Figure 7
$U_{STAT,MAX,B}$	gmm	Balourd statique maximal possible du cas B de la Figure 7
$U_{STAT,MAX,C}$	gmm	Balourd statique maximal possible du cas C de la Figure 7
$U_{STAT,PER}$	gmm	Balourd statique résiduel admissible
$U_{STAT,PER,CS}$	gmm	Balourd statique résiduel admissible pour l'utilisateur
$U_{STAT,PER,FINE}$	gmm	Balourd statique résiduel admissible pour l'équilibrage fin
$U_{STAT,PER,FINE,RES}$	gmm	Balourd statique résiduel admissible résultant d'un outil à équilibrage fin ou un composant prenant en compte U_{MIN} et G 40 (voir la Figure 13)
$U_{STAT,PER,FINE,4}$	gmm	Balourd statique résiduel admissible d'un composant, à équilibrage fin pour un système d'outillage à 4 composants
$U_{STAT,PER,FINE,5}$	gmm	Balourd statique résiduel admissible d'un composant, à équilibrage fin pour un système d'outillage à 5 composants
$U_{STAT,PER,FINE,6}$	gmm	Balourd statique résiduel admissible d'un composant, à équilibrage fin pour un système d'outillage à 6 composants
$U_{STAT,PER,STND}$	gmm	Balourd statique résiduel admissible d'un système d'outillage défini
$U_{STAT,PER,TM}$	gmm	Balourd statique résiduel admissible pour le fabricant de l'outil
$U_{STAT,SYS,PER}$	gmm	Balourd statique résiduel admissible d'un système d'outillage
$U_{STAT,SYS,PER,FINE}$	gmm	Balourd statique résiduel admissible d'un système d'outillage (quasi monobloc) assemblé pour l'équilibrage fin
$U_{STAT,SYS,PER,STND}$	gmm	Balourd statique résiduel admissible d'un système d'outillage (quasi monobloc) assemblé pour l'équilibrage standard
$U_{STAT,P1,P2}$	gmm	Balourd statique résultant d'un procédé d'équilibrage dynamique (à deux plans)
v_C	m/min	Vitesse périphérique à l'arrête de coupe
$v_{G\ 40}$	m/min	Limite de vitesse périphérique de la sécurité G 40 selon l'ISO 15641 → $v_{G\ 40}$ = 1 000 m/min
v_{REF}	m/min	Vitesse périphérique du diamètre de référence de l'outil (c'est-à-dire le diamètre de l'outil le plus important)
x_{P1}	mm	Distance entre le plan P1 et le centre de gravité de l'outil CG

© ISO 2017 – Tous droits réservés

Symboles et termes abrégés	Unité	Description
x_{P2}	mm	Distance entre le plan P2 et le centre de gravité de l'outil CG
α	°	Angle
α_{P1}	°	Angle d'inclinaison du balourd au plan P1
α_{P2}	°	Angle d'inclinaison du balourd au plan P2
α_{U}	°	Angle entre le balourd statique et le couple de balourds
ρ_{ST}	mg/mm^3	Masse volumique de l'acier (7,8 mg/mm^3)
Ω	rad/s	Vitesse angulaire d'un composant ou d'un outil

4 Exigences

4.1 Généralités

4.1.1 Erreurs de serrage

Des balourds sans lien avec la qualité d'équilibrage d'un outil peuvent se produire en raison d'erreurs de serrage dues aux tolérances d'assemblage, par exemple au moment d'insérer un outil dans la broche de la machine-outil. Même si l'équilibrage entraîne une excentricité plus faible que l'excentricité de queue possible, il est impossible de reproduire cet état d'équilibrage à chaque action de serrage de l'outil concerné dans la broche de la machine-outil ou de la machine à équilibrer. Une erreur d'assemblage radial de plusieurs microns peut se produire selon le type et la dimension de la queue (voir le Tableau 2 pour les erreurs de serrage de différentes interfaces d'outil). Des facteurs tels que l'usure et le battement des différentes interfaces peuvent contribuer à aggraver les imprécisions d'assemblage, produisant ainsi un balourd résiduel plus important dans le système d'outillage à broche.

4.1.2 Influence des machines à équilibrer

Le balourd résiduel réalisable d'un outil est limité par le type et la précision de la machine à équilibrer (voir les paragraphes 4.2.2 et 4.2.3). Le Tableau 2 expose les limites de mesure des balourds de machines à équilibrer fabriquées pour des outils de masses différentes.

Les excentricités systématiques comme un battement la broche d'équilibrage peuvent être éliminées par un équilibrage par indexage. Cette procédure est décrite dans l'ISO 21940-14.

NOTE L'ISO 21940-14 décrit les modes opératoires d'essais pour évaluer les limites et la performance des machines à équilibrer.

4.1.3 Effets et conséquences fréquentes des balourds résiduels admissibles conformément à l'ISO 1940-1

Les deux exemples ci-après montrent que les qualités d'équilibrages communes, basées sur l'ISO 1940-1 dépassent déjà les limites admissibles.

Le niveau de qualité fréquemment exigé G 2,5 pour une vitesse de rotation de 25 000 min^{-1} correspond à un balourd résiduel admis d'à peine 1 gmm/kg. Un balourd résiduel de 1 gmm pour un outil pesant 1 000 g correspond à une excentricité admissible de tout juste 1 µm pour le centre de gravité de l'outil. Cette valeur est inférieure à ce qu'une nouvelle interface HSK peut produire de manière répétée (voir le Tableau 2).

S'agissant d'outils encore plus légers et de vitesses de rotation plus rapides, les exigences augmentent de manière continue. Un outil HSK-40 de 350 g ne peut tolérer un balourd résiduel que de 0,21 gmm (autrement dit, 0,6 gmm/kg) pour rester conforme au niveau de qualité G 2,5 pour une vitesse de rotation de 40 000 min^{-1}. Cela signifie également une excentricité maximale du centre de gravité de l'outil de seulement 0,6 µm.

© ISO 2017 – Tous droits réservés